

# REVISTA DE ENGENHARIA CIVIL IMED



## Avaliação preliminar dos efeitos da substituição parcial do agregado miúdo por Cinza de Madeira de Eucalipto (CME) nas propriedades das argamassas

## Preliminary evaluation on the effects of the partial replacement of fine aggregate by Eucalyptus Wood Ash (EWA) on the properties of mortars

*Álisson Franco do Couto(1); Nicole Schwantes-Cezario(2); Gilson Morales(3);  
Berenice Martins Toralles(4)*

1 Universidade Estadual de Londrina – Brasil.

E-mail: [alissoncouto@ymail.com](mailto:alissoncouto@ymail.com)

2 Universidade Estadual de Londrina – Brasil.

E-mail: [nicoleschwantes@hotmail.com](mailto:nicoleschwantes@hotmail.com)

3 Universidade Estadual de Londrina – Brasil.

E-mail: [gmorales@uel.br](mailto:gmorales@uel.br)

4 Universidade Estadual de Londrina – Brasil.

E-mail: [toralles@uel.br](mailto:toralles@uel.br)

**Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, vol. 5, n. 2, p. 84-98, Jul.-Dez. 2018 - ISSN 2358-6508

[Recebido: Março 28, 2018; Aceito: Outubro 31, 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i2.2571>

### Endereço correspondente / Correspondence address

Berenice Martins Toralles

Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia

e Urbanismo, Departamento de Construção Civil. Campus

Universitário, 86051990 - Londrina, PR – Brasil.

Caixa-postal: 6001.

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Luciana Oliveira Fernandes

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui! / click here!](#)

## Resumo

O desenvolvimento da avicultura de corte no Brasil provocou considerável aumento na demanda por combustíveis, utilizados no aquecimento do ambiente interno das granjas. Dentre esses, destaca-se a lenha de eucalipto, que ao ser queimada produz cinzas residuais que muitas vezes não recebem destinação adequada. Nesse contexto, o uso da cinza de madeira de eucalipto (CME) em substituição parcial à areia natural em argamassas foi investigado. As areias utilizadas foram separadas em três frações granulométricas da areia normal, avaliando-se a massa específica, massa unitária, superfície específica e teor de matéria orgânica. As argamassas foram produzidas com traço 1:3, em volume, com índice de consistência fixado em  $250 \pm 10\text{mm}$  e teores de substituição de 0, 10 e 20% da areia natural por CME. No estado fresco, as argamassas foram avaliadas quanto à massa específica e, em estado endurecido, quanto à absorção de água, massa específica, índice de vazios e resistência à compressão axial. Os ensaios realizados indicaram a viabilidade técnica da substituição da areia natural por CME em teores de até 10% de seu volume, sem prejuízo significativo às propriedades avaliadas.

**Palavras-chave:** Agregado sustentável. Argamassa com resíduos. Propriedades mecânicas. Lenha de eucalipto. Avicultura.

## Abstract

The development of the poultry business in Brazil has been causing considerable growth on the demand for the fuels used to heat up the internal environment of the poultry farms. Among these, the eucalyptus firewood can be pointed out, and once it is burned down, it produces residual ashes that frequently do not get adequate disposal. Thus, the use of the Eucalyptus Wood Ash (EWA) as partial natural sand replacement in mortars was investigated. The used sands were separated in three particle size fractions of the normal sand, being evaluated for their specific gravity, unit weight, specific surface and organic matter content. The mortars were produced in a 1:3 proportion by volume, with a consistence index set in  $250 \pm 10\text{mm}$  and replacement content of 0, 10 and 20% of natural sand by EWA. At fresh stage, the mortars were evaluated for their specific gravity and, at hardened stage, for their water absorption, bulk density, borehole index and compressive strength. The tests indicated the technical viability of natural sand replacement by EWA up to a 10% content, by volume, without any significant loss to the investigated properties.

**Keywords:** Alternative aggregate. Mortar containing residues. Mechanical properties. Eucalyptus firewood. Poultry.

## 1 Introdução

O Brasil vem ganhando destaque no mercado mundial de avicultura de corte, se consolidando como um dos maiores produtores e exportadores do ramo (MADALENA *et al.*, 2013). Esse protagonismo impulsionou um grande aumento no consumo de insumos básicos à produção de carne de frango, dentre os quais, a lenha, utilizada na queima em fornos para aquecimento do ambiente.

O inconveniente de tal alternativa, além dos gases expelidos na atmosfera, é a geração de cinzas residuais, que muitas vezes não recebem a destinação adequada sob o ponto de vista ambiental. Dentro desse contexto, as tecnologias de estabilização de resíduos através de solidificação com cimento Portland vêm sendo usadas há décadas como etapa final de tratamento (PIETROBON *et al.*, 2004; MENDES; GUERRA; MORALES, 2016; MANSANEIRA *et al.*, 2017; GOZI; COUTO; MORALES, 2018).

A proposta de emprego de resíduos em argamassas está atrelada ao fato de que a produção desse compósito extrapola a marca de milhões de toneladas por ano, consumindo um enorme volume de materiais naturais como agregados, assim como cimento e outros ligantes (MODOLO *et al.*, 2013). Dessa forma, o reaproveitamento de resíduos diversos para a produção de concretos e argamassas se torna uma alternativa interessante, tendo em vista o grande potencial de incorporação da indústria da construção civil.

Embora o uso de cinzas residuais em cimentos, concretos e argamassas seja viável, é necessário que o produto final tenha durabilidade equivalente e apresente propriedades mecânicas apropriadas (MODOLO *et al.*, 2013), ou seja, os produtos devem ter capacidade de resistir adequadamente aos esforços solicitantes. Isso torna necessária a existência de estudos que atestem a possibilidade de uso de um determinado resíduo em compósitos cimentícios.

Vários pesquisadores vêm demonstrando a viabilidade do uso de resíduos de origem orgânica nesses compósitos, sejam como adições minerais ou como agregados. Nesse sentido, a busca de materiais alternativos aos agregados miúdos naturais para uso em argamassas vem se intensificando, não apenas no Brasil, mas também em nível internacional (ALMEIDA *et al.*, 2015; BERRA *et al.*, 2015; MODOLO *et al.*, 2013; AL-RAWAS *et al.*, 2005).

A areia, normalmente extraída de rios, é um material de construção largamente utilizado, especialmente no Brasil, onde o emprego de estruturas em concreto e o uso de argamassas para assentamento e revestimento ainda é recorrente. Entretanto, a extração de areia por dragagem é notoriamente agressiva ao meio ambiente, gerando grandes impactos onde é explorada, entre eles a elevação na turbidez e a contaminação da água dos corpos hídricos, a alteração da calha original e a possibilidade de interferência na velocidade e direção do fluxo d'água (LELLES *et al.*, 2005).

Nesse trabalho objetivou-se avaliar a viabilidade técnica e os efeitos do uso de Cinza de Madeira de Eucalipto (CME), oriunda da queima da lenha em fornos de aviários na cidade de Novo Itacolomi/PR, na substituição parcial da areia natural em argamassas de cimento Portland, visando proporcionar uma alternativa de destino ao resíduo por meio de sua reintrodução em uma cadeia produtiva, além de reduzir a demanda por um material de origem não renovável.

## 2 Materiais e métodos

### 2.1 Materiais

Na produção das argamassas, foram utilizados cimento *Portland* do tipo CP II Z 32, areia natural quartzosa lavada de rio, oriunda do Rio Paraná, Cinza de Madeira de Eucalipto (CME) coletada em um aviário no Município de Novo Itacolomi/PR e água potável.

### 2.2 Métodos

#### 2.2.1 Preparação areia natural

A areia natural foi submetida à secagem em estufa, sob temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , durante 24h, segundo a NBR NM 248:2003. Na sequência, o material foi peneirado mecanicamente em pequenas quantidades por períodos de 4 minutos, separando-se as frações retidas nas peneiras 0,6, 0,3 e 0,15mm. Essas frações são respectivamente classificadas pela NBR 7214:2015 como média grossa, média fina e fina. O peneiramento foi realizado até se atingir a quantidade necessária de cada uma das frações.

#### 2.2.2 Preparação da cinza de madeira de eucalipto (CME)

A cinza de madeira de eucalipto foi submetida ao mesmo procedimento de preparação da areia natural. Entretanto, devido à grande quantidade de material pulverulento ( $< 75\mu\text{m}$ ) que permaneceu aderido à superfície das partículas maiores, cada uma das frações foi submetida a um peneiramento manual por sua respectiva malha.

Quanto à composição química da CME, a Tabela 1 dispõe os resultados encontrados por outros autores (BORLINI *et al.*, 2005; VASKE, 2012; RESENDE, 2013). Destaca-se que, apesar das composições serem relativamente distintas entre si, o óxido de cálcio (CaO) constitui o composto mais abundante em todas elas.

**Tabela 1.** Composição química da CME determinada por outros autores

Elementos	Composição		
	Resende (2013)	Vaske (2012)	Borlini et al. (2005)
SiO <sub>2</sub>	6,38	3,45	16,90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,60	1,00	2,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,90	2,00	0,80
CaO	27,40	48,99	32,60
MgO	6,15	1,92	7,20
TiO <sub>2</sub>	2,41	0,15	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,75	2,04	3,70
Na <sub>2</sub> O	0,28	0,32	2,40
K <sub>2</sub> O	4,29	6,11	7,00
MnO	0,41	2,88	-
MnO <sub>2</sub>	-	-	0,39
Cl	-	3,08	0,15
SrO	-	0,65	0,27
SO <sub>3</sub>	-	1,67	4,40
BaO	-	0,41	-
Outros	-	0,12	-
PF	15,56	25,21	21,50

**Fonte:** Adaptado de Resende (2013), Vaske (2012) e Borlini *et al.* (2005).

### 2.2.3 Caracterização das areias

Tanto a areia natural quanto a CME foram caracterizadas segundo suas propriedades físicas e químicas. Para isso, foram utilizadas quantidades iguais, em massa, de cada uma das frações granulométricas separadas anteriormente.

Os agregados foram caracterizados quanto à massa específica (NBR 9776:1987), a massa unitária em estado solto (NBR NM 45:2006) e o teor de material pulverulento (NBR NM 46:2003).

Para a determinação do teor de matéria orgânica, os agregados foram submetidos à secagem em estufa, sob temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  por 24h e, na sequência, calcinação em mufla à  $550 \pm 5^\circ\text{C}$  por um período de três horas, pautando-se na perda de massa ocorrida após esse processo (CARMO; SILVA, 2012). Para cada agregado foram utilizados cinco cadinhos de porcelana ( $n=5$ ), contendo cerca de 10g de material cada.

Por fim, as superfícies específicas das areias foram determinadas pelo método Brunauer-Emmett-Teller (B.E.T.). Para tanto, foi utilizado um equipamento Quantachrome NOVA 1200e, onde os materiais foram preliminarmente secados a vácuo durante um período de 3h à  $150^\circ\text{C}$ , procedendo-se, na sequência, a adsorção de nitrogênio. A quantidade de material utilizada nesse ensaio varia de 150 a 300mg.

## 2.2.4 Caracterização do cimento

O cimento foi caracterizado quanto à massa unitária em estado solto (NBR NM 45:2006) e massa específica (NBR NM 23:2001).

## 2.2.5 Produção e caracterização das argamassas

Pelo fato da cinza de madeira de eucalipto apresentar baixa massa unitária (Tabela 3), recorreu-se ao traço 1:3 em volume para produção dos compósitos. Foram produzidas três argamassas, sendo uma de referência e duas com substituições parciais do volume de areia por CME, em percentuais de 10 e 20%. Em todos os casos, foi fixado um índice de consistência de  $250 \pm 10$  mm, mensurado conforme prevê a NBR 13276:2016.

Foram confeccionados 10 corpos de prova de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura para cada argamassa, conforme procedimentos da NBR 7215:1996. Estas permaneceram nos moldes por 24 h, sendo posteriormente submetidas à cura por imersão em água saturada com cal, até as idades de ensaio.

Na Tabela 2 estão apresentadas as quantidades de materiais, em massa, utilizadas para produzir os 10 corpos de prova, obtidas a partir dos resultados dos ensaios de massa unitária (Tabela 3). O cálculo da quantidade de materiais foi feito considerando um excedente de 15% sobre o volume necessário.

**Tabela 2.** Quantidades de materiais usada na produção dos 30 corpos de prova analisados

Argamassas	Volume (cm <sup>3</sup> )				Massa (g)			
	Cimento	Areia			Cimento	Areia		
		Natural	CME	Total		Natural	CME	Total
Referência	753	2258	-	2258	723	3387	-	3387
10% CME	753	2032	226	2258	723	3048	99	3148
20% CME	753	1806	452	2258	723	2710	199	2908
Traço		1:3				Variável		

A mistura dos materiais foi realizada manualmente, primeiramente homogeneizando-se os materiais secos e, na sequência, adicionando-se água em pequenas quantidades. Em estado fresco, as argamassas tiveram sua massa específica determinada conforme a NBR 13278:2005.

Dos 10 corpos de prova de cada argamassa, 4 foram rompidos à compressão axial aos 7 dias de idade e 4 aos 28 dias (n=4), segundo a NBR 7215:1996. Os outros 2 corpos de prova foram utilizados para determinação da absorção de água por imersão e fervura, massa específica em estado endurecido e índice de vazios, conforme a NBR 9778:2005, iniciando-se tais ensaios aos 21 dias de idade, de modo a finalizá-los aos 28 (n=2).



Por fim, os resultados obtidos para a argamassa de referência e as argamassas com incorporação de cinza foram comparados por meio de análise de variância, com nível de significância de 5%.

### 3 Resultados e discussões

#### 3.1 Preparação e caracterização dos materiais

Preliminarmente, o objetivo do estudo era utilizar tanto a areia natural, quanto a CME, nas quatro frações constituintes da Areia Normal, conforme a NBR 7214:2015. Entretanto, ao se proceder o peneiramento dos materiais, duas constatações foram feitas em relação à cinza de madeira de eucalipto: a) a quantidade de material retida na peneira 1,2mm era muito pequena e b) o material retido na peneira 1,2mm possuía grande quantidade de resquícios de carvão, conforme mostra a Figura 1. Assim, optou-se por utilizar apenas as frações média grossa (0,60mm), média fina (0,30mm) e fina (0,15mm), em ambos os casos.



**Figura 1.** Fração da cinza de madeira de eucalipto retida na peneira 1,2mm.

Os resultados obtidos nos ensaios de caracterização dos materiais utilizados na produção das argamassas podem ser visualizados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Caracterização físico-química dos materiais

<b>Agregado</b>	<b>Massa específica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Massa unitária (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Material pulverulento (%)</b>	<b>Teor de matéria orgânica (%)</b>
Areia Natural	2,66	1,55	0,10	0,24
CME	2,81	0,44	37,99	4,40
Cimento	3,08	0,96	-	-

Os resultados de massa específica e massa unitária apresentados pela areia natural são corroborados pelos valores normalmente apresentados pela literatura para materiais de origem quartzosa (SU; HSU; CHAI, 2001; SUA-IAM; MAKUL, 2013). Neville e Brooks (2013) destacam que a maior parte dos agregados naturais possuem massa específica entre 2,6 e 2,7g/cm<sup>3</sup>, mas que essa propriedade não é um indicativo da qualidade do mesmo.

No caso da CME, o elevado valor de massa específica apresentado pode ter sido influenciado pelo provável alto teor de óxido cálcio presente na cinza, conforme mostra a Tabela 1. O óxido de cálcio puro apresenta massa específica entre 3,2 e 3,4g/cm<sup>3</sup> (GUIMARÃES, 2002).

A grande diferença entre os valores de massa unitária apresentada pela areia natural e a CME ocasionaram a necessidade de realizar a dosagem das argamassas em volume, uma vez que seria necessário um grande volume de cinza caso se optasse pela substituição em massa.

Quanto ao teor de material pulverulento, a areia natural apresentou um valor de apenas 0,10%, bem abaixo dos 5% permitidos pela NBR 7211:2005. Entretanto, a CME não atendeu a tal requisito normativo, apresentando um percentual muito elevado de material pulverulento, de 38%. Na prática, isso significa que de toda a CME separada para esse estudo, mesmo com o processo duplo de peneiramento, quase 40% de sua massa era composta por material passante na peneira #200. Possivelmente esse material encontrava-se muito bem aderido à superfície das partículas maiores, uma vez que a segunda etapa de peneiramento foi realizada até que não houvesse mais passagem visível de material pela malha. Nesse contexto, a realização de lavagem das frações mais grossas da CME pode representar um procedimento mais eficiente de remoção dos finos aderidos às partículas maiores do que o peneiramento duplo.

Já no caso da presença de matéria orgânica, ambos os materiais se enquadraram no teor máximo de 10%, indicado pela mesma norma. Conforme esperado, a areia natural apresentou um teor bastante reduzido, de apenas 0,24%, por ser um material de origem mineral. Por outro lado, a CME apresentou uma quantidade um pouco maior de matéria orgânica remanescente, de 4,40%, resultado esperado por ser um material proveniente de origem orgânica. Mesmo assim, esse ensaio indica que a queima da lenha no forno do aviário atinge temperaturas que permitem eliminação satisfatória da matéria orgânica. A eliminação da fração de CME retida na peneira 1,2mm também colaborou para o baixo teor de matéria orgânica presente, uma vez que essa apresentava quantidade considerável de carvão remanescente da queima.

O último ensaio de caracterização realizado para os agregados foi o de adsorção de nitrogênio pelo método B.E.T., cujos resultados podem ser conferidos na Tabela 4.



**Tabela 4.** Resultados obtidos no ensaio de adsorção de nitrogênio pelo método B.E.T.

Amostra	Superfície Específica (m <sup>2</sup> /kg)
Areia Natural	1029
CME	1098

Conforme é possível perceber, os valores de superfície específica obtidos apresentaram pouca diferença, o que indica que o processo de manipulação granulométrica por meio da separação nas três frações da Areia Normal foi satisfatório. Essa pequena discrepância provavelmente está relacionada às características dos materiais como, por exemplo, o formato e a porosidade das partículas.

O resultado do ensaio de superfície específica pelo método B.E.T. corrobora a possibilidade mencionada anteriormente de que o material pulverulento presente na CME encontrava-se muito bem aderido à superfície das partículas maiores, uma vez que sua presença não foi capaz de interferir significativamente no resultado da adsorção de nitrogênio.

## 3.2 Caracterização das argamassas

### 3.2.1 Estado fresco

Para se atingir o índice de consistência de  $250 \pm 10$  mm nas argamassas, procedeu-se a adição de água necessária em cada caso. As características apresentadas pelas mesmas em estado fresco podem ser conferidas na Tabela 5.

**Tabela 5.** Características das argamassas em estado fresco

Argamassas	Relação água-cimento	Relação água-materiais secos	Índice de consistência (mm)	Massa específica em estado fresco (g/cm <sup>3</sup> )
Referência	0,81	14%	245	1,98
10% CME	0,87	16%	245	1,98
20% CME	0,87	17%	241	1,96

É possível perceber que a substituição parcial do volume de areia natural por CME causou uma elevação na relação água/cimento e na relação água/materiais secos. Uma vez que esses materiais apresentaram valores de superfície específica similares, isso provavelmente está relacionado ao maior teor de material pulverulento presente na cinza. Esse material mais fino pode ter se desprendido parcialmente das partículas maiores com a adição da água e a mistura, consequentemente aumentando sua demanda para atingir a consistência desejada. Essa maior demanda por água pode também estar relacionada à possível composição química da CME (Tabela 1), uma vez que óxidos de metais alcalinos terrosos, como cálcio e magnésio, são altamente higroscópicos (ABRAHAM; BUTLER; CHEN, 1971).

Embora a CME seja um material mais volumoso que a areia natural, a substituição de até 20% não causou impacto significativo nos valores de massa específica no estado fresco, provavelmente pelo fato da primeira apresentar maior massa específica em relação à segunda, provocando um efeito compensatório. Entretanto, o resultado de massa específica fresca apresentado para o teor de 20% de CME, indica que há uma tendência de redução nessa propriedade com o aumento da substituição, possivelmente devido ao maior volume de água demandado para atingir a consistência desejada.

Para fins de comparação, Modolo *et al.* (2013) ao avaliarem a substituição do agregado miúdo em argamassas por cinzas oriundas da queima de biomassa, também não verificaram impactos significativos nos valores de massa específica no estado fresco, para teores de 50 e 100% de substituição da fração fina da areia.

Outro fator interessante observado nas argamassas no estado fresco foi o volume efetivo de argamassa produzido. É muito comum, ao se dosar argamassas em volume, considerar que a quantidade produzida seja equivalente ao volume de areia utilizado, uma vez que os aglomerantes devem preencher os vazios entre os agregados. Porém, durante a produção das argamassas desse estudo foi possível observar o ar que tornava a CME um material mais volumoso é removido, através da adição da água de amassamento, ocasionando a produção de um volume efetivo de argamassa menor, conforme se aumentava o teor de substituição. Tal fato foi constatado pela menor quantidade de argamassa que sobrava ao final da moldagem dos corpos de prova.

### 3.2.2 Estado endurecido

A Tabela 6, a seguir, apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física das argamassas produzidas, consistindo nos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica em estado endurecido. O comparativo estatístico de tais variáveis pode ser conferido na Tabela 7.

**Tabela 6.** Resultados obtidos nos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica das argamassas

Propriedade	Referência	10% CME	20% CME
Absorção por imersão e fervura (%)	11,64%	12,45%	13,88%
Índice de vazios por imersão e fervura (%)	22,16%	23,75%	26,29%
Massa específica saturada por imersão e fervura (g/cm <sup>3</sup> )	2,05	2,08	2,11
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	2,34	2,41	2,49

**Tabela 7.** Análise estatística dos ensaios de absorção, índice de vazios e massa específica das argamassas

Propriedade	Resultados Comparados	
	Ref. – 10% CME	Ref. 20% CME
Absorção por imersão e fervura (%)	ND	D
Índice de vazios por imersão e fervura (%)	ND	D
Massa específica saturada por imersão e fervura (g/cm <sup>3</sup> )	ND	ND
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	ND	D
ND – Não diferem estatisticamente		
D – Diferem estatisticamente		

Analizando conjuntamente as tabelas, é possível perceber que os resultados apresentados para a argamassa de referência não diferiram significativamente em relação à argamassa com substituição parcial de 10% da areia natural por CME, fato que não se repetiu comparando a mesma referência com a argamassa com 20% de substituição.

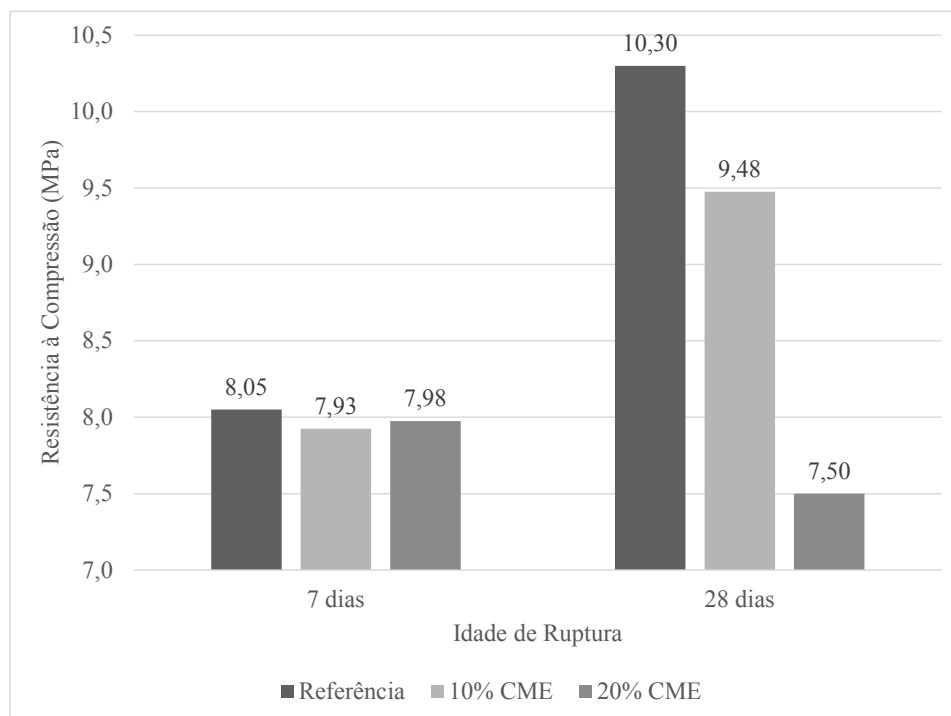
Apesar da necessidade de elevação da relação água/cimento para que a argamassa com 10% de CME mantivesse o mesmo índice de consistência da argamassa de referência, conforme mostra a Tabela 5, tal fato não provocou elevação significativa em sua capacidade de absorção de água e tampouco no índice de vazios, características importantes em termos de durabilidade dos compósitos.

Esse aspecto provavelmente está relacionado a um possível desprendimento parcial dos finos aderidos às partículas de CME, que podem ter contribuído na obstrução dos poros capilares advindos do aumento na relação/água cimento, barrando uma elevação significativa na absorção da água e no índice de vazios dessas argamassas devido ao efeito fíler.

Tal fato não se repetiu para o caso da argamassa com 20% de CME em substituição à areia, onde houve diferença significativa entre os valores de absorção de água e índice de vazios quando comparados à argamassa de referência. Com o aumento da proporção de CME presente e a consequente elevação da relação água/materiais secos para a manutenção do índice de consistência, o possível desprendimento do material fino aderido às partículas de CME não foi capaz de compensar o aumento da porosidade nesse caso.

Por fim, a substituição de parte da areia natural por CME mostra uma tendência de aumento na massa específica real das argamassas em estado endurecido, que se indica no teor de 10% e se confirma no teor de 20%, onde foi detectada diferença estatística significativa entre os resultados. Esta consequência já era esperada, uma vez que a CME apresentou massa específica superior à areia natural, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão axial, obtidos para as argamassas produzidas, podem ser observados na Figura 2. A análise estatística de tais informações pode ser conferida na Tabela 8.



**Figura 2.** Resistência à compressão axial das argamassas aos 7 e 28 dias de idade (n=4)

**Tabela 8.** Análise estatística do ensaio de resistência à compressão axial das argamassas

Idade	Resultados Comparados	
	Ref. – 10% CME	Ref. – 20% CME
7 dias	ND	ND
28 dias	ND	D

ND – Não diferem estatisticamente  
D – Diferem estatisticamente

Como é possível perceber, os valores de resistência à compressão apresentados pelas argamassas com teores de 10 e 20% de CME, não demonstraram variação significativa de resistência aos 7 dias, quando comparados ao compósito de referência. Embora a relação água/cimento tenha sido modificada para as argamassas com adição de cinza, de forma a se manter a mesma consistência, essa manutenção da resistência mecânica provavelmente está relacionada a um possível efeito filer preliminar, provocado pela presença de material pulverulento na CME, capaz de manter essa equivalência de resistência nas idades iniciais.

No caso das resistências aos 28 dias, entretanto, os resultados foram distintos. A argamassa produzida com 10% de CME em substituição à areia não apresentou diferença significativa em relação à argamassa de referência, em termos de resistência à

compressão. Já o compósito com 20% de CME, por outro lado, não apresentou evolução significativa de resistência em relação aos 7 dias de idade.

A elevação do teor de areia substituído por CME, por consequência aumentou a presença de materiais finos presente na mistura, devido ao material pulverulento aderido nas partículas desta. Esse material em excesso pode ter provocado uma gradual migração da água de amassamento desse compósito para a superfície das partículas de CME, prejudicando a continuidade da hidratação do cimento utilizado. Além disso, a presença do pó aderido a essas partículas certamente prejudicou a aderência na interface pasta-agregado, afetando a resistência mecânica do produto.

## 4 Considerações finais

A diferença nos resultados de massa unitária entre a areia natural e a CME justificam a utilização de um traço em volume para a dosagem das argamassas. Na avaliação da superfície específica dos agregados, constatou-se que a manipulação granulométrica dos mesmos surtiu efeito, produzindo materiais similares e que podem ser comparados.

A substituição parcial do agregado natural por CME elevou a demanda por água para se manter o mesmo índice de consistência, fato que pode estar relacionado tanto à elevada presença de finos na CME, quanto à possível presença de óxidos de metais alcalinos terrosos altamente higroscópicos em sua composição. Entretanto, tal fato não causou impactos significativos nas propriedades das argamassas no estado fresco.

No estado endurecido, os valores de resistência à compressão axial das argamassas indicam que uma possível substituição de até 10% do volume de areia natural por CME pode não afetar significativamente tal propriedade. O excesso de material pulverulento da CME, entretanto, pode estar relacionado ao comprometimento da resistência mecânica do compósito a partir dos 7 dias de idade, quando o teor de substituição utilizado foi elevado para 20%.

Sugere-se que no processo de preparação da CME seja realizada a lavagem do material, de maneira a permitir a completa remoção dos finos aderidos às partículas maiores, uma vez que o processo de peneiramento duplo se mostrou insuficiente para tal.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina pela realização do ensaio de adsorção de nitrogênio pelo método B.E.T.

## Referências

- ABRAHAM, M. M.; BUTLER, C. T.; CHEN, Y. Growth of High-Purity and Doped Alkaline Earth Oxides: I. MgO and CaO. *The Journal of Chemical Physics*, v. 55, n. 8, p. 3752-3756, 1971.
- ALMEIDA, F. C. R.; SALES, A.; MORETTI, J. P.; MENDES, P. C. D. Sugarcane bagasse ash sand (SBAS): Brazilian agroindustrial by-product for use in mortar. *Construction and Building Materials*, v. 82, p. 31-38, 2015.
- AL-RAWAS, A. A.; HAGO, A. W.; TAHA, R.; AL-KHAROUSI, K. Use of incinerator ash as a replacement for cement and sand in cement mortars. *Building and Environment*, v. 40, p. 1261-1266, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7211*. Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7214*. Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 2015.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7215*. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.
- \_\_\_\_\_. *NBR 9776*. Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- \_\_\_\_\_. *NBR 9778*. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. *NBR 13276*. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- \_\_\_\_\_. *NBR 13278*. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 23*. Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 45*. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 46*. Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.
- \_\_\_\_\_. *NBR NM 248*. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- BERRA, M.; MANGIALARDI, T.; PAOLINI, A. E. Reuse of woody biomass fly ash in cement-based materials. *Construction and Building Materials*, v. 76, p. 286-296, 2015.
- BORLINI, M. C.; SALES, H. F.; VIEIRA, C. M. F.; CONTE, R. A.; PINATTI, D. G.; MONTEIRO, S. N. Cinza da lenha para aplicação em cerâmica vermelha – Parte I: Características da cinza. *Revista Cerâmica*, v. 51, n. 319, p. 192-196, 2005.
- CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, 2012.



GOZI, D. D.; COUTO, A. F. do; MORALES, G. *Interferência da substituição parcial de cimento Portland por fíler basáltico na carbonatação de concretos*. 3o Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, p. 1-12, 2018.

GUIMARÃES, J. E. P. *A cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil*. Pini, 2ª Edição, 2002.

LELLES, L. C. de; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. *Revista Árvore*, v. 29, n. 3, p. 439-444, 2005.

MADALENA, L. C. de S.; OLIVEIRA, A. F.; ROCHADELLI, R. Lenha: O Dendrocombustível na Avicultura de Corte. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 2, p. 48-60, 2013.

MANSANEIRA, E. C.; SCHWANTES-CEZARIO, N.; SANDOVAL, G. F. B.; TORALLES, B. M. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic material. *DYNA*, v. 84, n. 201, p. 163-171, 2017.

MENDES, T. M.; GUERRA, L.; MORALES, G. Basalt waste added to Portland cement. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 38, n. 4, p. 431-436, 2016.

MODOLO, R. C. E.; FERREIRA, V. M.; TARELHO, L. A.; LABRINCHA, J. A.; SENFF, L.; SILVA, L. Mortar formulations with bottom ash from biomass combustion. *Construction and Building Materials*, v. 45, p. 275-281, 2013.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. *Tecnologia do concreto*. Bookman, 2ª Edição, 2013.

PIETROBON, C. L. da R.; ANDRADE, C. M. G.; COLANZI, J.; BARROS, I. B. de; BERGAMASCO, R.; PIETROBRON, C. E. Lixiviação de contaminantes de compostos de lodo-cimento. *Acta Scientiarum Technology*, v. 26, n. 1, p. 45-52, 2004.

RESENDE, D. S. de. *Estudo do efeito da incorporação de cinzas de cavaco de eucalipto como material cimentício suplementar*. 2013. Tese (Doutorado). Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2013.

SU, N.; HSU, K.-C.; CHAI, H.-W. A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, v. 31, n. 12, p. 1799-1807, 2001.

SUA-IAM, G.; MAKUL, N. Use of increasing amounts of bagasse ash waste to produce self-compacting concrete by adding limestone powder waste. *Journal of Cleaner Production*, v. 57, p. 308-319, 2013.

VASKE, N. R. *Estudo preliminar da viabilidade do aproveitamento da cinza proveniente de filtro multiciclone pela combustão de lenha de eucalipto em caldeira fumutubular como adição ao concreto*. 2012. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.